



2. Bouteille de Klein à trois cols.



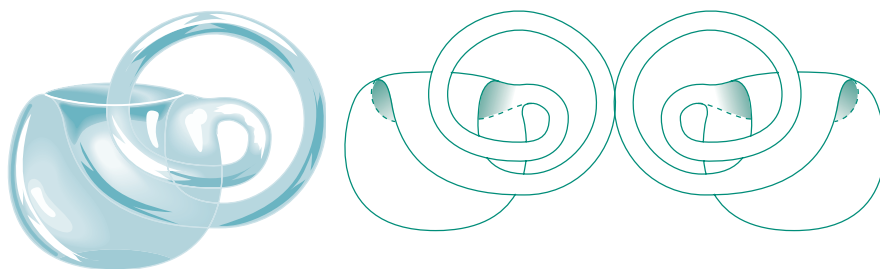
3. Trois bouteilles de Klein emboîtées.



4. Cette bouteille de Klein à col spiralé se coupe en deux rubans tordus de sept demi-tours avant recollement.



5. Autre bouteille de Klein spiralée.



6. Le vase d'Ouslam, dont le col s'enroule deux fois, se sépare en deux rubans de Möbius à trois demi-tours quand on le coupe verticalement.

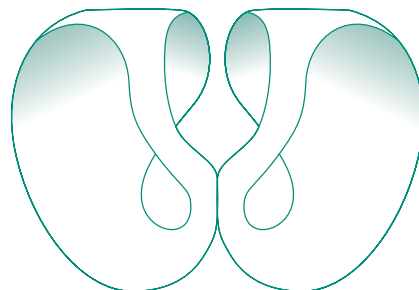
qui semble être l'intérieur se relie continûment à l'extérieur : la bouteille de Klein n'a qu'une face et pas de bord.

A. Bennett avait entendu dire que si l'on coupe une bouteille de Klein le long d'une courbe appropriée, elle se sépare en deux rubans de Möbius. Plus précisément, une telle opération, pour une bouteille immergée dans l'espace ordinaire telle celle d'A. Bennett, conduit à deux rubans tordus d'un demi-tour. A. Bennett se demandait quelle forme il faudrait couper pour obtenir deux rubans tordus de trois demi-tours. Son programme de recherche ? C'est un acte de foi : «Je crois que si l'on réalise assez de variations du concept de base, la solution la plus logique ou la plus évidente saute finalement aux yeux.»

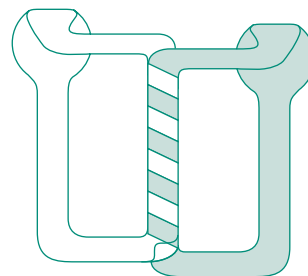
Soufflant ainsi le verre à la recherche d'une surface qui formerait des bandes à trois demi-tours, A. Bennett testa des objets où une trinité apparaissait : des bouteilles à trois cols, des bouteilles trois fois emboîtées, des bouteilles à cols recourbés trois fois... Il apprit à prévoir ce que donneraient les coupures, vérifiant ses prévisions en sciant effectivement les merveilleuses bouteilles qu'il soufflait.

La solution apparut alors qu'il avait soufflé une bouteille dont le col formait deux boucles, avec trois auto-intersections. Il la nomma «vase d'Ouslam», d'après l'oiseau mythique qui vole en cercles décroissants jusqu'à disparaître à l'intérieur de lui-même. Quand on coupe ce vase d'Ouslam verticalement, selon son plan de symétrie (le plan du papier, pour la figure 6), on obtient deux rubans à trois demi-tours : le problème est résolu.

Comme un mathématicien l'aurait fait, A. Bennett poursuivit l'étude : comment obtenir deux rubans à cinq demi-tours ? À sept demi-tours ? À neuf demi-tours ? Le problème général a-t-il une solution ? Ajoutant une boucle supplémentaire au vase d'Ouslam, A. Bennett obtint, après découpe, les rubans à cinq demi-tours, et, chaque fois qu'il ajoutait une boucle, il obtenait deux demi-tours de plus dans les rubans formés ensuite. Puis il simplifia la forme, afin de la rendre plus solide, et il obtint des bouteilles de Klein spiralées. Celle qui est représentée sur la



7. On obtient deux rubans de Möbius quand on coupe une bouteille de Klein comme indiqué ici.



Dessins de Laurie Grace

8. Une bouteille de Klein coupée selon une spirale.

figure 4 donne deux rubans à sept demi-tours, après découpe, et chaque tour de spirale ajouté conduit à deux demi-tours de plus sur les rubans formés.

Ayant ainsi compris l'importance des tours de spirale, A. Bennett comprit qu'il pouvait revenir à la bouteille de Klein initiale, en déroulant la spirale. La ligne de coupure se déforme simultanément et s'enroule alors en spirale. Ainsi, si l'on coupe une bouteille de Klein ordinaire selon une spirale, on obtient autant de demi-tours que l'on veut (*neuf dans le cas représenté sur la figure 8*).

Enfin, une curiosité : on sait maintenant couper une bouteille de Klein afin d'obtenir deux rubans à un demi-tour, mais on peut aussi couper une bouteille de Klein afin d'obtenir un seul ruban de Möbius. Je vous laisse chercher comment, et je vous donnerai la solution dans un prochain numéro de *Pour la Science*.

Thomas BANCHOFF, *La quatrième dimension*, éditions Pour la Science, collection L'univers des sciences.



Rotations culinaires

SHAWN CARLSON

Comment construire une centrifugeuse à partir d'un robot culinaire.

Les biochimistes ont l'art d'utiliser des méthodes expérimentales simples pour explorer des mystères insondables : ne se préoccupent-ils pas du fonctionnement de la vie ? Si la dernière décennie a vu l'éclosion de méthodes perfectionnées et coûteuses, des découvertes restent à la portée des amateurs éclairés. Pourquoi ces derniers se sont-ils généralement peu intéressés à la biochimie ? Probablement parce que peu d'entre eux disposent de cet outil indispensable qu'est la centrifugeuse.

Dans de tels appareils, la rotation rapide de petits tubes contenant des suspensions sépare les divers constituants. Comme des passagers dans une automobile qui prend un virage serré, les particules en suspension dans les tubes sont soumises à une force centrifuge qui les fait précipiter. Les biochimistes utilisent cet effet pour accélérer une précipitation. Pour purifier des protéines, par exemple, ils ajoutent souvent un acide ou une base faibles (du vinaigre cristallin ou du bicarbonate, par exemple) afin de provoquer une précipitation ; puis la forte pesanteur apparente exercée par la rotation provoque la sédimentation des particules coagulées.

Aucune autre méthode ne permet d'isoler si rapidement de grandes quantités de composés. Si vous voulez extraire des bactéries de leur milieu de culture, purifier des protéines ou isoler des anticorps, vous devrez utiliser une centrifugeuse. Hélas, les appareils professionnels coûtent des milliers de francs.

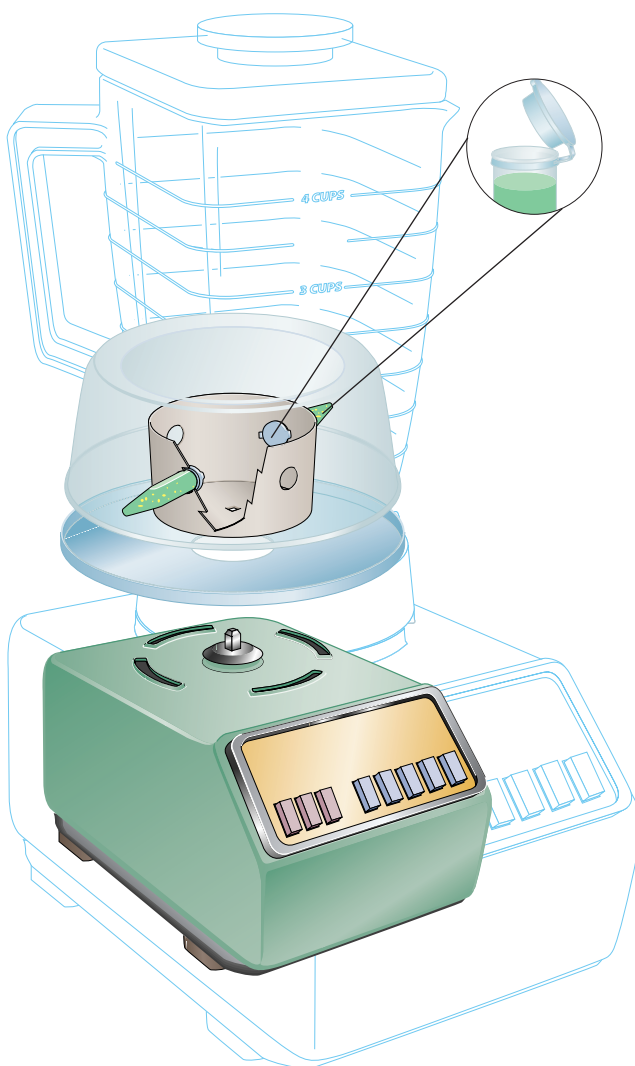
Charles Carter, un ingénieur de l'Ontario, a mis au point une centrifugeuse à la fois peu coûteuse et d'une construction très

simple. Une après-midi de travail et une centaine de francs, un vieux robot de cuisine et quelques objets en plastique suffisent pour reproduire son système, qui est une microcentrifugeuse plutôt qu'une centrifugeuse, car elle met en rotation de petits tubes à centrifuger. Le système est composé de trois parties : une base comportant un moteur, un cylindre

rotatif interne, auquel on fixe les tubes à centrifuger, et une enceinte de protection externe. Avant de construire le système, procurez-vous de petits tubes à centrifuger chez un fournisseur de matériel de laboratoire (quelques adresses sont indiquées en fin d'article).

La plupart des mixers ont un disque de plastique posé directement sur le sommet de la base. Éliminez cette pièce à la scie et lissez les bords découpés au papier de verre. Puis réalisez l'enceinte de protection en utilisant le fond d'un de ces récipients en plastique où l'on conserve les aliments : prenez un modèle de plus de 20 centimètres de diamètre et de 10 centimètres de profondeur. Coupez un gros trou au centre du couvercle et collez-le face en bas sur la base du bloc moteur, à l'aide d'une colle très forte, en prenant garde de ne pas recouvrir les aérations qui servent au refroidissement du moteur. Réalisez le rotor à partir d'un fond de tube en polychlorure de vinyle (PVC) : la pièce doit être un cylindre de dix centimètres de long, fermé à une extrémité, et avoir une épaisseur de 0,3 centimètre au moins. Dans la partie cylindrique, percez quatre trous régulièrement répartis, à mi-hauteur, en utilisant des mèches de perceuse de diamètres croissants : c'est dans ces trous que vous placerez les tubes à centrifuger.

L'axe du moteur devra être fixé exactement au centre de masse de cette pièce en PVC. Or le centre de masse n'est pas toujours le centre géométrique. Pour déterminer la position où vous devrez percez le fond du cylindre de PVC, suspendez la pièce par une petite ficelle de sorte que le fond plan soit per-



Un vieux robot culinaire peut être transformé en centrifugeuse de laboratoire.

pendiculaire au sol. Le centre de masse est sur la droite qui passe par la ficelle. Marquez alors cette droite en enduisant de craie un fil à plomb, en suspendant ce fil à côté de celui qui tient la pièce, puis en accolant les deux fils : la craie laissera une marque sur le PVC. Puis répétez l'opération en fixant la pièce par un autre point du bord : l'intersection des segments marqués à la craie indique le centre de masse. Le forage au centre de masse doit ensuite être bien perpendiculaire au fond plan : si vous ne vous sentez pas capable de garder la verticalité du foret, fixez votre perceuse sur une potence abaissable. L'axe de nombreux mixer est de section carrée : Ch. Carter propose de l'introduire dans le trou rond que vous aurez percé, puis de coller l'axe au fond.

Lors de vos premiers tests, utilisez des tubes à centrifuger vides, et pensez toujours à bien répartir la charge. Faites tourner le moteur à vitesse aussi faible que possible, en protégeant vos mains. Si vous entendez du bruit et si vous voyez des vibrations trop importantes, arrêtez aussitôt le moteur et procédez à des réglages : retirez un des tubes, par exemple, puis remettez le moteur en marche ; si les bruits ou les vibrations cessent, vous saurez que vous devrez retirer de la masse du côté de ce tube : éliminez un petit morceau de PVC au bord supérieur de la pièce, à la verticale de la position du tube retiré. Recommencez ces ajustements jusqu'à ce que les vibrations disparaissent.

Pour tester votre centrifugeuse, remplissez deux tubes propres d'un millilitre de lait écrémé, puis finissez de remplir les tubes avec respectivement de l'eau et du vinaigre cristal (la concentration en acide acétique est égale à cinq pour cent). Placez les tubes dans des trous opposés, les couvercles à l'intérieur de la pièce en PVC (on doit disposer deux tubes opposés, de masses égales, sans quoi la rotation serait déséquilibrée).

Placez l'enceinte de protection et faites tourner pendant trois minutes, à la vitesse minimale. Quand le moteur est arrêté, retirez l'enceinte de protection, sortez les tubes et observez-les : le blanc du lait a sédimenté dans le fond du tube où le lait avait été additionné de vinaigre. En effet, le vinaigre a réduit le pH et a provoqué le caillage du lait : les protéines ont sédimenté, tandis que l'eau et la matière grasse ont surnagé.

Quelques adresses où vous pourrez vous procurer des tubes à centrifuger :

Laboscope, 1 rue Le Goff, 75005 Paris.
(Tel : 01 44 32 03 32).

Bioblock Scientific, BP 111, 67403 Illkirch cedex. Tel : 03 88 67 14 14
